

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Измерение длины и скорости движения кабельных изделий на основе эффекта Доплера</b>

УДК 621.373.826.093.2:531.7:621.315

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б61	Инь Юйкай		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОКД	Редько Л.А.	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОКД	Сечин Александр Иванович	Д.Т.Н., профессор		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС (ОК-1,2,6,ОПК-4,ОПК-8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P2</b>	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, ОПК-1, 3, 10) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P3</b>	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде и в обществе, в т.ч. на иностранном языке	Требования ФГОС (ОК-5, 6, ОПК-8, ПК-17) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P4</b>	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7, 8, 9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P5</b>	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС (ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>P6</b>	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	Требования ФГОС (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P7</b>	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС (ПК-1-6, 8) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P8</b>	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС (ПК-8-18) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P9</b>	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС (ПК-7, 19-23) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) Мойзес Б.Б.  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
151Б61	Инь Юйкай

Тема работы:

Измерение длины и скорости движения кабельных изделий на основе эффекта Доплера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.02.2020 №51-60/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – метод измерения длины кабельных изделий на основе эффекта Доплера</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Методы измерения длины и скорости кабельных изделий</p> <p>Эффект Доплера для измерения длины и скорости кабельных изделий</p> <p>Приборы для измерения длины и скорости кабельных изделий</p> <p>Структура и характеристики лазерных доплеровских измерителей длины и скорости кабельных изделий.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>Презентация PowerPoint</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение</p>	
<p>Социальная ответственность</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Редько Л.А.	К.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б61	Инь Юйкай		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа с. 70, рис.19, табл. 21, источников 17.

Ключевые слова: лазерный доплеровский измеритель, доплеровская частота, длина протяженных объектов, кабельные изделия.

Объектом исследования является реализация методов измерения скорости и длины кабельных изделий.

Предметом исследования является конструкция приборов для измерения скорости и длины кабельных изделий на основе эффекта Доплера.

Цель работы – Исследовать теоретические и практические аспекты создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.

В результате работы проведен литературный обзор методов измерения длины и скорости кабельных изделий, проведены расчеты, необходимые для определения логики конструирования лазерного доплеровского измерителя скорости. Определена доплеровская частота и параметры линзы, исходя из параметров лучших образцов на рынке.

Степень внедрения: проведен анализ литературы, поставлен первичный эксперимент.

Область применения: полученные в ходе исследования результаты имеют практическое применение для дальнейшей разработки приборов технологического контроля для кабельной, трубной, оптоволоконной и др. областей промышленности.

Экономическая значимость работы заключается в поиске возможностей технической реализации прибора, имеющего параметры, сопоставимые с лучшими образцами.

## **Определения, обозначения, сокращения**

В работе использовались следующие обозначения и определения:

ЛДИ – лазерный доплеровский измеритель;

ЛДИС – лазерный доплеровский измеритель скорости;

ПОИ – приемник оптического излучения;

ИИ – источник излучения;

ОУ – операционный усилитель;

КУ – коэффициент усилен

## Оглавление

Введение.....	8
1 Методы измерения длины и скорости кабельных изделий .....	10
1.1 Классификация методов измерения длины и скорости кабельных изделий .....	10
1.2 Описание методов измерения длины и скорости кабельных изделий .....	11
1.3 Эффект Доплера, его применение для измерения длины .....	19
2 Конструкция ЛДИС .....	33
2.1 Структурная схема ЛДИС .....	33
2.2 Типовая структура оптической части ЛДИС .....	33
2.3 Типовая структура электронной части ЛДИС .....	34
3 Основные принципы проектирования ЛДИС .....	37
3.1 Техническое задание .....	37
3.2 Расчет частоты доплеровского сигнала .....	37
3.3 Выбор линзы ЛДИС .....	39
3.4 Алгоритм проектирования ЛДИС .....	40
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований .....	41
4.2 SWOT-анализ .....	41
4.3 Планирование научно-исследовательских работ .....	44
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	49
4.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	54
5 Социальная ответственность .....	56
5.1 Производственная безопасность .....	56
5.3 Экологическая безопасность .....	63
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	64
Заключение .....	67
Список использованных источников .....	68

## **Введение**

В условиях быстрого развития мировой промышленности потребность людей в промышленной автоматизации возрастает. В современном производстве необходимо более быстро и точно измерять длину и скорость кабельных изделий, изделий из металла и т. д.

Спидометр Доплера, созданный на основе эффекта Доплера, является одним из самых точных приборов для измерения скорости и длины в современной промышленности. С точки зрения измерения скорости есть много преимуществ. Например, высокая точность бесконтактного измерения и более широкий диапазон скоростей измерения могут быть использованы для измерения расхода жидкостей и газов, а также для контроля измерений протяженных металлических объектов. В настоящее время ЛДИС играет важную роль в промышленной сфере и широко используется в различных областях, таких как ограничение скорости на дорогах, победа пластмассовых строительных материалов, кабельная промышленность, исследование планет и так далее. Современные ЛДИС представляют собой сложные оптико-электронные измерительные комплексы и системы, сочетающие в себе передовые технические решения [1]. Представленные на рынке приборы имеют высокую стоимость, поэтому разработка более конкурентоспособных образцов приборов является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось исследовать теоретические и практические аспекты создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.

Для выполнения работы поставлены следующие задачи:

- изучение и сравнительный анализ методов измерения длины и скорости кабельных изделий;
- изучение основ эффекта Доплера и его применения для измерения длины и скорости кабельных изделий;



- рассмотрение типовой конструкции лазерных доплеровских измерителей скорости кабельных изделий;
- изучение принципов конструирования лазерных доплеровских измерителей скорости;
- расчет доплеровской частоты и определения принципов конструирования прибора для измерения скорости и длины кабельных изделий на основе эффекта Доплера.

Объектом исследования является реализация методов измерения скорости и длины кабельных изделий.

Предметом исследования является конструкция приборов для измерения скорости и длины кабельных изделий на основе эффекта Доплера.

Практическая значимость работы заключается в потребности кабельной отрасли в недорогих и надежных приборах технологического контроля.

## **1 Методы измерения длины и скорости кабельных изделий**

### **1.1 Классификация методов измерения длины и скорости кабельных изделий**

В настоящее время преобладает тенденция введения автоматизации в сфере измерения и контроля объектов в промышленности. Этот факт предъявляет новые требования как к вновь разрабатываемым устройствам, так и к уже существующим. Однако, важно не только интегрирование измерительных систем в производственных процесс, но и обеспечение необходимой точности проводимых измерений. Измерение пространственных перемещений с возможностью точного позиционирования необходимы в различных областях машино-, судо- и авиастроения, а также в электронике, кабельной и других видах промышленности.

При контроле скорости к современным измерителям предъявляются следующие требования:

- простота градуировки и настройки;
- широкий диапазон измеряемых величин;
- надежность конструкции;
- помехозащищенность;
- бесконтактность измерений;
- универсальность применения.

Для измерения длины применяются прямые и косвенные методы измерения (рисунок 1).

По типу преобразователя различают два вида прямых методов измерения:

— Контактные. К этому типу можно отнести лишь один метод — электромеханический.

— Бесконтактные (фотоимпульсные). Также сюда относятся приборы с магнитными, тепловыми и другими метками.

Косвенные методы измерения представлены методами на основе эффекта

Доплера, корреляционными и растровыми методами [2].

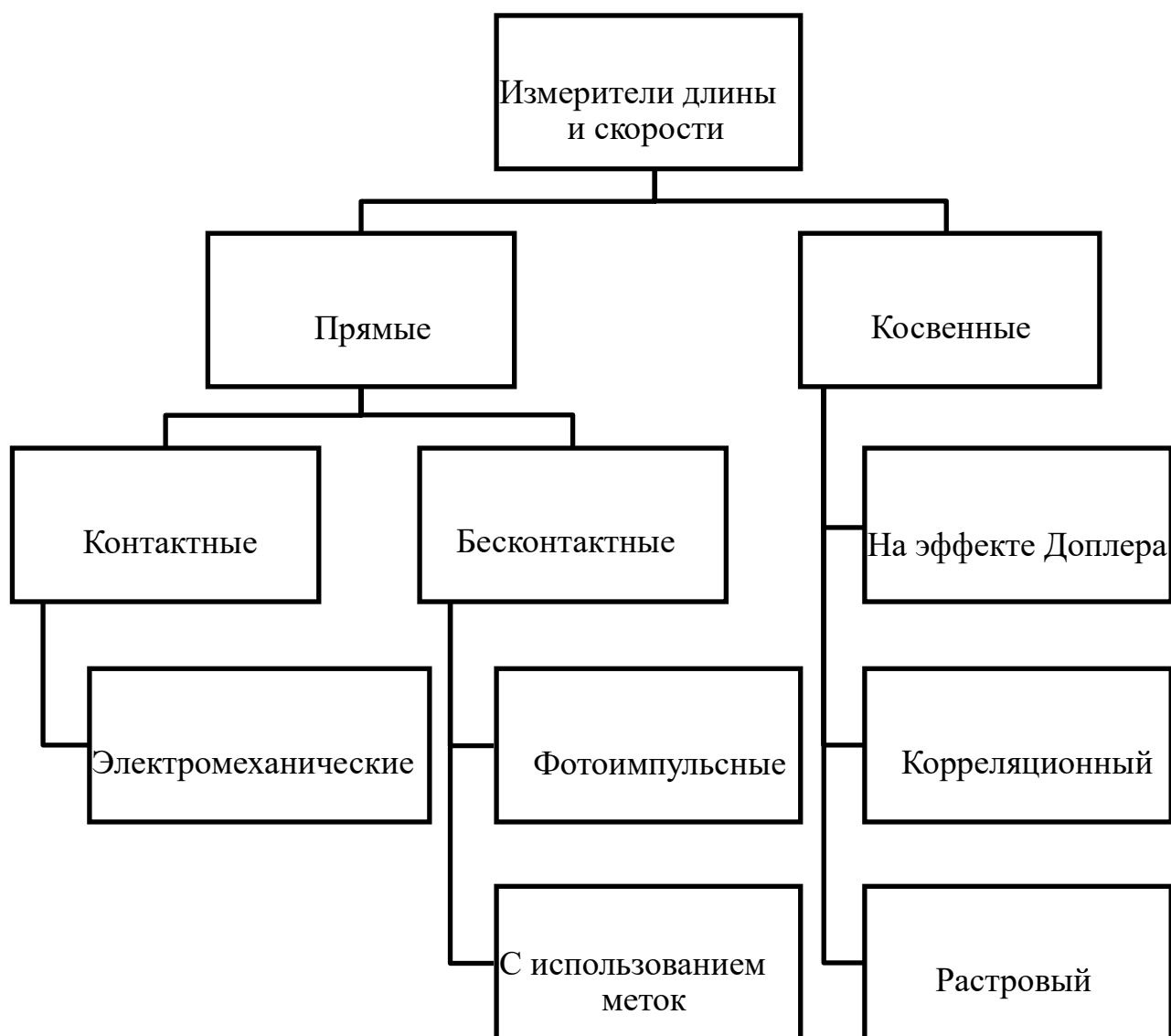


Рисунок 1 - Классификация методов измерения скорости и длины[3]

## **1.2 Описание методов измерения длины и скорости кабельных изделий**

### **1.2.1 Прямые методы измерения**

#### **1.2.1.1 Контактный (электромеханический) метод**

Одним из самых простых инструментов для измерения скорости объекта является электромеханический измеритель длины. Принцип работы инструмента заключается в следующем: цилиндрический ролик будет вращаться вокруг оси

при контакте с движущимся объектом. Генератор импульсов, жестко связанный с цилиндрическим роликом, излучает определенное количество импульсов за оборот. Затем мы обрабатываем полученные данные, чтобы получить скорость движущегося объекта. Цена импульса выражается по ниже представленной формуле [2]:

$$k = \pi D / n\mu \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр ролика;

$n$  — количество импульсов на один оборот импульсатора;

$\mu$  — передаточное отношение между роликом и импульсатором.

Расчет длины объекта по числу импульсов :

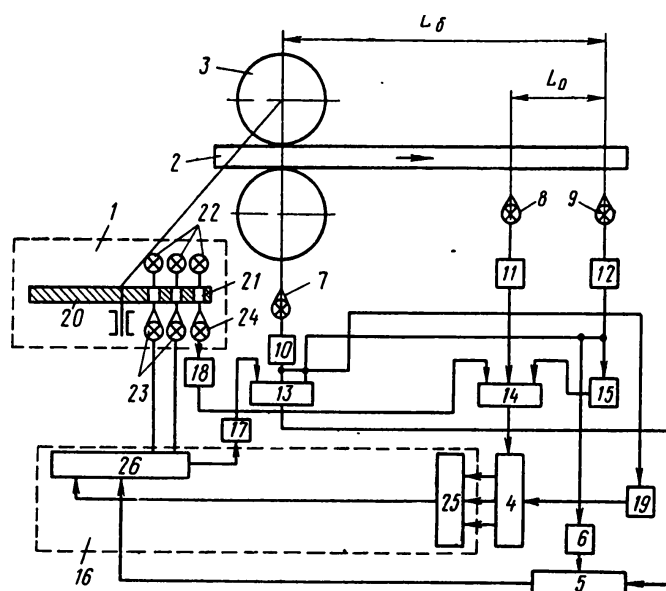
$$L = km \quad (2)$$

При использовании этого метода для измерения будет наблюдаться явное скольжение, приводящее к недостаточным результатам измерения. Вы можете использовать магнитные ролики или специальные приспособления для решения этой проблемы.

Также следует принять во внимание, что в процессе работы происходит износ ролика. Это является причиной изменения цены импульса:

$$\Delta k = \frac{\pi \Delta D}{n\mu} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta D}{D} \quad (3)$$

Т.к. относительное изменение диаметра ролика уменьшается с его увеличением, то для снижения ошибки измерения при прочих равных условиях ролик изготавливается большего диаметра. Дополнительно для уменьшения износа часто предусмотрены сменные рубашки. Схема измерителя представлена на рисунке 2.



1 — импульсатор; 2 — объект измерения; 3 — мерительные ролики; 4 — счетчик контрольной длины; 5 — счетчик полной длины объекта; 6 — устройство для установки величины базовой длины; 7 — фотодатчик наличия объекта в роликах; 8 и 9 — фотодатчики контрольной длины; 10, 11 и 12 — усилители; 13 и 14 — ключи; 15 — инвертор; 16 — блок для выбора одного из выходов преобразователя по коду контрольной длины; 17 — усилитель блока 16; 18 — усилитель; 19 — устройство для установки на нуль счетчиков 4 и 5 и блока 16; 20 — диск; 21 — отверстия; 22 — осветители; 23 и 24 — фотоэлементы; 25 — преобразователь; 26 — блок выбора

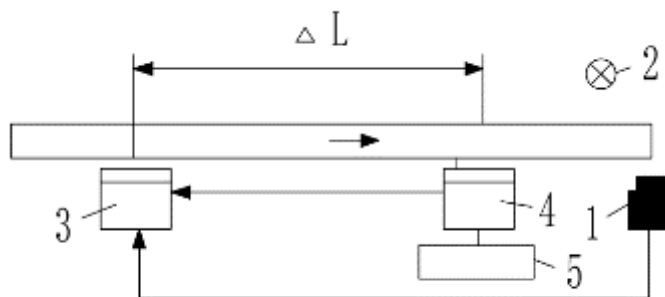
Рисунок 2 - Блок-схема электромеханического измерителя  
длины с базовой  $L_6$  и контрольной длиной  $L_0$

Проскальзывание ролика и значительные вибрации не позволяют измерять данным методом скорости выше 15 м/сек. Область применения невелика, и некоторые измерительные объекты не могут быть измерены этим методом, такие как высокотемпературные объекты или хрупкие объекты, такие как оптические кабели [3].

### 1.2.1.2 Бесконтактные методы

Измерители, использующие нанесение тепловых, магнитных, люминесцентных, радиоактивных и других меток, можно также отнести к измерителям с прямым счетом импульсов. Метки обладают определенной ценой

длины, каждая из которой считывается измерительной системой при прохождении мимо регистратора (рисунок 3). Как только фотодатчик 1 детектирует передний край изделия, подается команда о нанесении метки на изделие с помощью записывающего прибора 3. При последующем движении приемник 4 производит считывание меток и дает разрешение на нанесение следующей метки.



1 — фотодатчик; 2 — осветитель; 3 — головка записывающего прибора;

4—приемник; 5 — счетчик импульсов

Рисунок 3 - Принципиальная схема прибора для измерения длины с нанесением меток

Путь, пройденный объектом, определяют по формуле

$$L = \Delta L n \quad (4)$$

где  $n$  — число меток;

$\Delta L$  — расстояние между записывающей головкой и приемником.

Решающее влияние на точность приборов оказывает расстояние между записывающей головкой и приемником, в то время как скорость движения объекта практически не важна. Приборы данного типа наиболее широко используются для измерения длинных и «бесконечных» объектов.

Принципиальная схема измерителей первой группы приведена на рисунке 4, а.

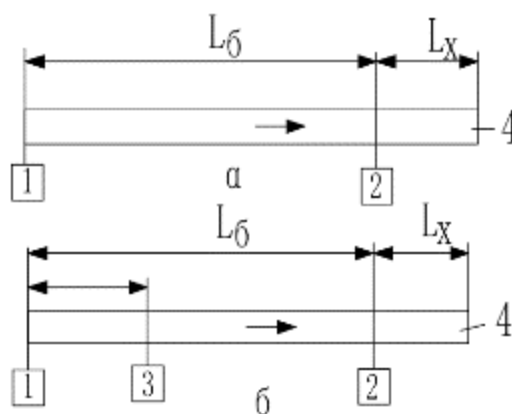


Рисунок 4 - Схема расположения фотодатчиков при измерении длины фотоимпульсным методом: а — без учета скорости; б — с учетом скорости; 1-3 — фотодатчик; 4 — объект

На базовом расстоянии, выбранном как минимальный размер измеряемого объекта, устанавливаются фотодатчики 1 и 2. При длине объекта, равном, отрезок подлежит измерению. При допущении, что скорость объекта измерения постоянна, искомая величина, где  $t_x$  — время от момента пересечения объектом передним концом датчика 2 до момента пересечения задним концом датчика 1. Таким образом, время может служить мерой отрезка объекта.

Этот метод усложняется следующими ситуациями при фактическом использовании: скорость объекта измерения изменяется. Когда измеряемые объекты имеют разные скорости. Мы должны измерить скорость каждого продукта, этот процесс станет очень сложным. Схема подобной установки приведена на рисунке 4, б. В этом случае на линии движения объекта устанавливается дополнительный датчик 3 на расстоянии  $l_0$  от датчика 1. Скорость изделия определяется из выражения  $v = l_0 / t_y$ , где  $t_y$  — время прохождения объектом расстояния  $l_0$ . Тогда

$$l_x = vt_x = l_0 t_x / t_y \quad (5)$$

Однако при использовании этого метода для измерения скорости изменения, особенно для объектов с большой длиной, точность не высока, и результаты измерений подвержены значительным ошибкам. Поэтому этот метод не получил широкого распространения.

### 1.2.2 Косвенные методы измерения

Метод косвенных измерений заключается в преобразовании скорости объекта измерения в длину, которая интегрируется во времени для косвенного получения скорости.

$$L = \int_0^t V(t) dt \quad (6)$$

где  $L$  — длин объекта;

$V$  — скорость объекта;

$t$  — время измерения.

#### 1.2.2.1 Растровый метод

Принципиальная оптическая схема измерителей на основе растрового метода приведена на рисунке 1.5. Принцип его работы основан на пятифокусной оптической системе с телецентрическим лучом. Афокальная система обеспечивает независимость размера изображения измеряемого объекта от изменения рабочего расстояния, а телецентрическая система с апертурной диафрагмой в задней фокальной плоскости 1-го объектива обеспечивает уменьшение влияния абберационных искажений и неточности настройки оптической системы (рисунок 5) [4].

Выходная частота и измеряемая скорость связаны простым соотношением

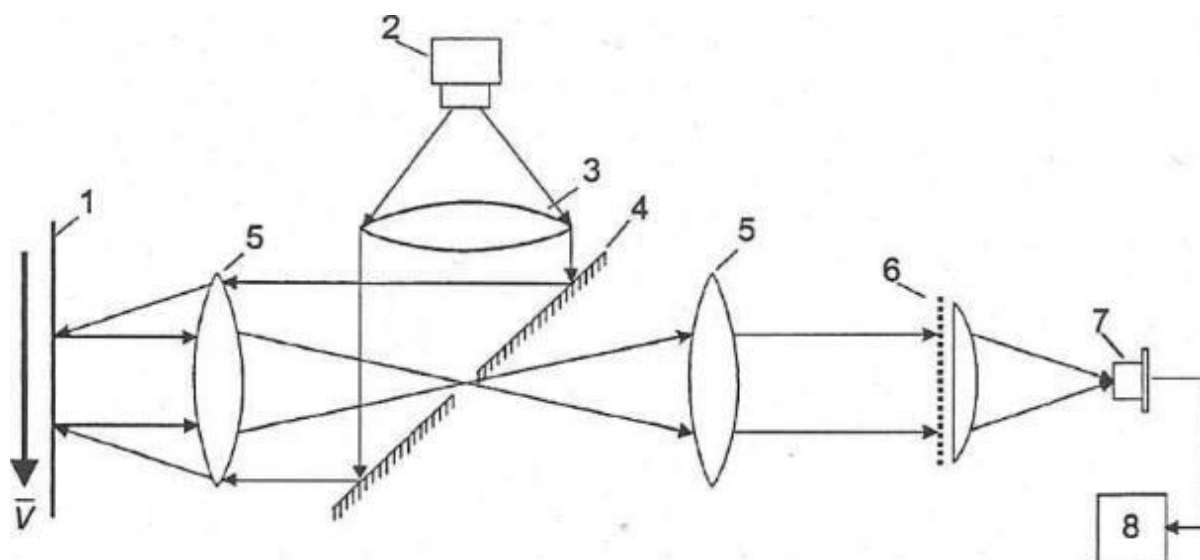
$$f = \frac{Mv}{d} \quad (7)$$

где  $d$  — шаг растрового анализатора;

$M$  — масштаб оптической системы.

Для определения направления движения возможно использование двух амплитудных пространственных периодических структур, имеющих одинаковый шаг и сдвинутых на  $90^\circ$ .





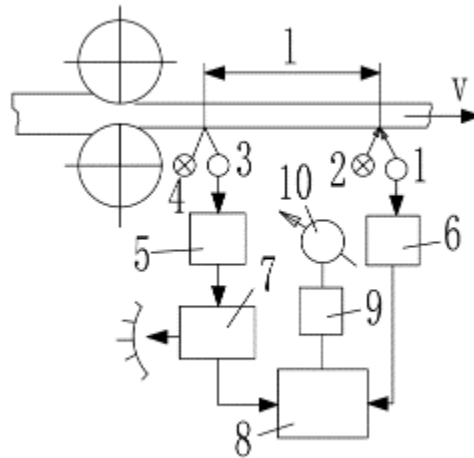
1 — контролируемый объект; 2 — излучатель; 3 — конденсор; 4 — зеркало; 5 — линзы; 6 — растровый анализатор; 7 — фотоприемник; 8 — сигнал-процессор

Рисунок 5 - Принципиальная оптическая схема оптического растрового измерителя скорости

#### 1.2.2.2 Корреляционный метод

Используйте этот метод для измерения скорости, которая измеряется по смещению во времени отраженного сигнала из той же точки на поверхности движущегося объекта. Блок-схема измерителя скорости на основе корреляционного метода представлена на рисунке 6.

Яркие световые штрихи посредством оптической системы проецируются на поверхность движущегося объекта. Оси этих штрихов перпендикулярны направлению движения объекта. Расстояние между ними строго фиксировано и равно  $l$ . Из-за различных структурных неоднородностей поверхности объекта яркость штрихов постоянно меняется. Их изображения передаются с помощью приемной оптической системы на фотозадающие элементы, сигналы с которых пропорциональны яркости штрихов.



1, 3 — фотоэлементы; 2, 4 — осветители; 5, 6 — усилители; 7 — блок регулируемого запаздывания (БРЗ); 8 — множительное устройство; 9 — сглаживающий фильтр; 10 — индикатор

Рисунок 6 - Блок-схема корреляционного измерителя скорости

Т.к. второй штрих смещено относительно первого, то сигнал  $f_1(t)$ , характеризующий яркость первого штриха, совпадет с сигналом второго фотоэлемента  $f_2(t-\tau)$  с некоторым запаздыванием, связанным со скоростью движения по следующей формуле

$$\tau = l / v \quad (8)$$

или

$$v = l / \tau \quad (9)$$

где  $\tau$  — время запаздывания;

$l$  — расстояние между штрихами;

$v$  — скорость движения объекта[5].

При  $l = \text{const}$  по величине  $\tau$  возможно определение скорости движения объекта. Из-за поперечных смещений полосы движения объекта, различиях в характеристиках элементов каналов измерения сигналы не идентичны, хотя и близки по форме.

Для измерения величины времени запаздывания в измерительный канал первого сигнала вводится блок регулируемого запаздывания (БРЗ). Он может быть представлен в виде магнитной ленты или магнитного барабана с подвижной

считывающей головкой, устанавливаемой с помощью ходового винта. Возможно изменение времени регулируемого запаздывания передвижением считывающей головки. Производится перемножение сигналов с фотоэлементов в множителе, и полученное произведение выводится на индикатор. Выходной сигнал является произведением двух сигналов  $f_1(t)-f_1(t-\tau_{p3})$  и  $f_2(t)-f_1(t-\tau)$ . Выходной сигнал будет максимальным при. Изменяя величину запаздывания, получают максимальные показания индикатора и тем самым обеспечивают условие  $\tau_{p3}=\tau$ . Затем по формуле (9) определяют скорость движения объекта. Шкалу БРЗ можно проградуировать непосредственно в единицах измерения скорости[6].

Для определения можно применять схему, в которой перемножение двух сигналов заменяется их вычитанием или суммированием с последующим возведением в квадрат.

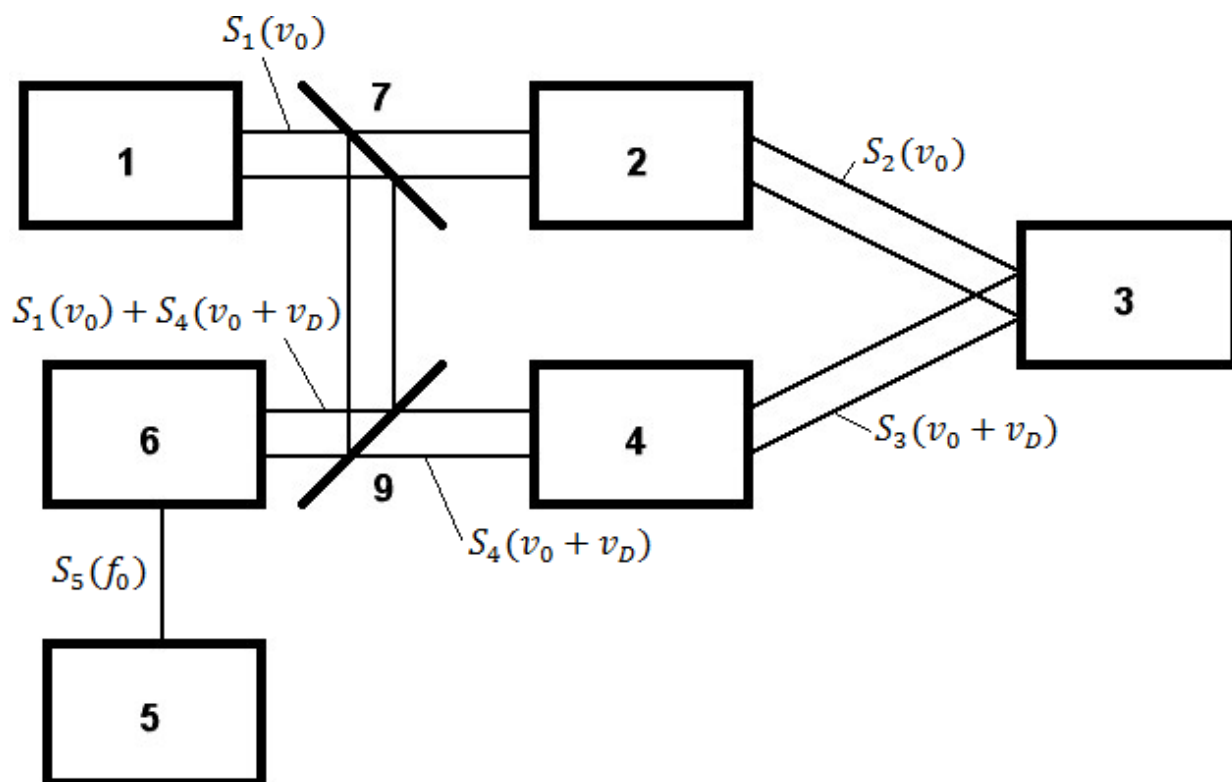
### **1.3 Эффект Доплера, его применение для измерения длины**

#### **1.3.1 Метод измерения на основе эффекта Доплера**

В основу метода положен эффект Доплера — измерение частоты регистрируемых колебаний при движении источника или приемника волн. В методах лазерного измерения скорости используется эффект изменения частоты лазерного излучения при его рассеянии оптическими неоднородностями движущегося объекта.

В общем случае ЛДИ состоит из источника света (лазера), оптических устройств для передачи и приема излучения, фотоприемника и устройства для выделения и обработки доплеровского сигнала (рисунок 7).

С выхода передающего тракта подается излучение со спектром мощности  $S_2(\nu_0)$ , которое после рассеяния на измеряемом объекте 3 из-за амплитудной, фазовой и частотной модуляции среды в общем случае изменится на  $S_3(\nu_0+\nu_D)$ . После блока выделения доплеровского сдвига частот 6 на выходе образуется электрический сигнал определенной частоты  $S_5(f_0)$ .



1 — источник излучения — лазер; 2 — передающий оптический тракт;  
 3 — исследуемый объект; 4 — приемный оптический тракт; 5 — блок  
 обработки информации; 6 — блок выделения доплеровского сдвига частоты;  
 7,9 — расщепители пучка.

Рисунок 7 - Блок-схема ЛДИ

Под эффектом Доплера понимается то, что длина волны и частота света могут существенно изменяться при движении источника света и приемника, включая распространение акустических и электромагнитных волн. Когда приемник движется к источнику со скоростью  $v_H$ , скорость распространения света относительно наблюдателя превращается в  $(v+v_H)$ , тогда

$$f_H = \frac{v+v_H}{v} = \left(1 + \frac{v_H}{v}\right) f_H \quad (10)$$

Когда источник сигнала движется к приемнику со скоростью  $v_H$ , рассеянный свет распределяется в  $(v+v_H)$ , относительно источника света, тогда

$$f_H = \frac{v}{v+v_H} f_H \quad (11)$$

Неравномерное рассеянное излучение возникает на поверхности изделия, и оптический сигнал может быть принят через оптический приемник, а затем оптический сигнал передается на фотоприемник. Функция фотоприемника заключается в преобразовании оптического сигнала, полученного приемником, в электрический сигнал, частота которого пропорциональна скорости движения измеряемого объекта.

$$\Delta f = \frac{v}{d} = \frac{2v \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}{\lambda} \quad (12)$$

Где  $f$  - выходная частота лазера;  $v$  – скорость объекта;

$\varphi$  - угол между лазерными лучами;  $\lambda$  – длина волны лазера.

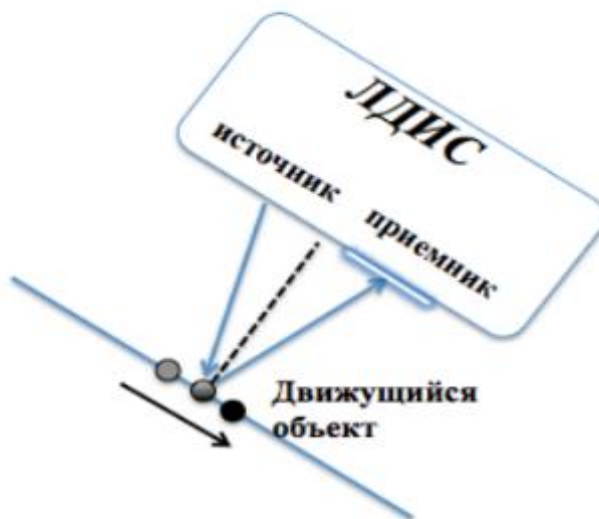


Рисунок 8 - Ход луча ЛДИС

На рисунке 8 показан световой путь ЛДИС. При использовании ЛДИС лазер косвенно освещает объект измерения, а затем снова возвращается с углом между ними. Принцип ЛДИС заключается в сборе рассеянного света, рассеянного движущимся объектом. Рассеянный свет преобразуется в электрический сигнал с помощью устройства обнаружения. Сигнал имеет информацию о сдвиге частоты, которая пропорциональна скорости движения движущегося объекта, и измерение длины осуществляется посредством последующей обработки. В этом рабочем процессе оптический сигнал испытал

несколько взаимосвязей распространения: во-первых, статический лазерный источник света излучает лазерный свет для достижения движущегося объекта, который должен быть измерен. Происходит рассеяние. Рассеянный свет достигает стационарного устройства обнаружения через определенный оптический путь. В этом процессе фактически имели место два эффекта Доплера, один произошел от стационарного источника света и движущегося объекта, а другой - от движущегося объекта и стационарного устройства обнаружения. Частота рассеянного света пропорциональна скорости объекта исследования.

Эффект Доплера - это явление, при котором частота волны, принимаемой наблюдателем, и частота источника волны различаются, когда источник волны и наблюдатель имеют относительное движение. Свист поезда, несущегося на расстоянии, становится более резким (т. е. Частота становится выше, а длина волны становится короче), в то время как свист поезда, покидающего нас, становится приглушенным (т. е. Частота становится ниже, а длина волны становится длиннее). Это явление было впервые открыто австрийским физиком Доплером в 1842 году.

Австрийский физик и математик Кристиан Йохан Доплер (Christian Johann Doppler) впервые предложил теорию оптического эффекта Доплера. Основное содержание этой теории состоит в том, что объект излучает определенную длину волны во внешний мир, и его длина волны будет изменяться из-за относительного движения источника света и наблюдателя. Перед источником движущейся волны волна сжимается, длина волны становится короче, а частота изменяется Выше (синий сдвиг): при движении за источником волны возникает противоположный эффект, длина волны увеличивается, а частота становится ниже (красное смещение). Чем выше скорость источника волны, тем больше эффект. По степени красного (синего) смещения световой волны можно рассчитать скорость источника волны, движущейся в направлении наблюдения.

Лазерный эффект Доплера используется для измерения длины, в основном, путем сбора рассеянного света, рассеянного движущимся объектом.

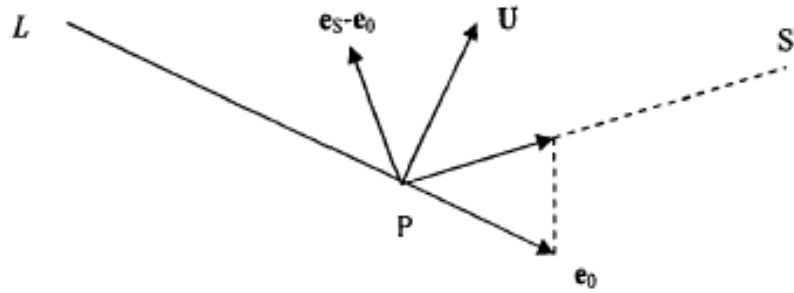
Рассеянный свет преобразуется в электрический сигнал устройством обнаружения. Сигнал имеет информацию о сдвиге частоты, которая пропорциональна скорости движения движущегося объекта. Измерение длины достигается за счет последующей обработки. Во время этого рабочего процесса оптический сигнал претерпел несколько взаимосвязей распространения: во-первых, лазерный свет, излучаемый стационарным лазерным источником света, достигает измеряемого движущегося объекта, возникает явление рассеяния, и рассеянный свет достигает стационарного устройства обнаружения через определенный оптический путь. В этом процессе эффект Доплера фактически имел место дважды, один раз с неподвижным источником света и движущимся объектом, и один раз с движущимся объектом и стационарным устройством обнаружения. Формула доплеровского сдвига получена ниже.

На рисунке 9 показана схема взаимного расположения стационарного лазерного источника света L, стационарного фотоприемника S и частиц P движущегося объекта. Если частота волны лазерного излучения, излучаемого источником лазерного излучения, равна  $f_0$ , скорость движения движущейся частицы P измеряемого объекта равна U.

Используя принцип релятивистского преобразования, можно рассчитать частоту лазерного излучения  $e$ . Полученную движущимися частицами измеряемого объекта. В это время наблюдается эффект Доплера. Формула расчета следующая:

$$f' = f_0 \frac{1 - \frac{U \cdot e_0}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{U}{c}\right)^2}} \quad (13)$$

Где  $e_0$  Представляет единичный вектор падающего света;  $c$  - скорость лазера в среде передачи.



U-измеряемого объекта равна; L-взаимного расположения стационарного лазерного источника света; S-стационарного фотоприемника; P-частиц;  $e_s$ -единичный вектор света, рассеянного движущимися частицами;  $e_0$ -представляет единичный вектор падающего света.

Рисунок 9 - Относительные положения между источником света, частицей и фотоприемником

Расширяя формулу (13), когда  $U \cdot e_0 \ll c$ , это можно выразить следующим образом:

$$f' = f_0 \left( 1 - \frac{U \cdot e_0}{c} \right) \quad (14)$$

Выше приведена формула для вычисления сдвига частоты эффекта Доплера между стационарным источником света и движущимся объектом. Требуется формула доплеровского сдвига частоты всей системы. Также должен быть рассчитан доплер, генерируемый между движущимся объектом и фотоприемником. Ле значение частоты. Движущиеся объекты рассеивают падающий свет, поэтому при получении формулы доплеровской частоты между движущимся объектом и детектором движущийся объект можно рассматривать как движущийся источник света, а фотоприемник можно рассматривать как неподвижный объект. Этот принцип может быть использован для получения частоты рассеянного света, получаемого фотоприемником. Формула расчета выглядит следующим образом:



$$f_s = f'(1 + \frac{U \bullet e_s}{c}) \quad (15)$$

Где  $e_s$ - единичный вектор света, рассеянного движущимися частицами.

Подставляя формулу (15) в формулу (16), в  $|U| \ll c$ . Игнорируя условия высшего порядка в условиях, мы можем получить формулу расчета доплеровской частоты всей системы:

$$f_s = f_0 \left[ 1 + \frac{U \bullet (e_s - e_0)}{c} \right] \quad (16)$$

Приведенная выше формула вычисляет частоту лазерного доплера. Для анализа скорости движения полезен лазерный доплеровский сдвиг частоты. Значение сдвига частоты  $f_0$  можно получить путем вычитания исходной излучаемой частоты лазера из  $f_s$  (17) .

$$f_D = f_s - f_0 = \frac{1}{\lambda} |U \bullet (e_s - e_0)| \quad (17)$$

Где  $\lambda$  - длина волны лазера в передающей среде. Если объект, который мы изучаем, находится в воздухе, мы можем напрямую использовать значение длины волны лазера в вакууме. Вывод этой формулы получается только тогда, когда известны относительные положения источника лазерного излучения, движущихся частиц и детектора фотоэлектрического сигнала. Можно видеть, что полученное таким образом значение скорости может представлять только движение объекта. Компонент скорости в  $(e_s - e_0)$  направлении и значение плоского вектора скорости не могут быть получены.

В большинстве случаев направление скорости движущегося объекта известно, поэтому нам нужно только указать направление скорости падающего лазера, рассеянного света и движущихся частиц, как показано на рисунке 10, и мы получим Ожидаемое выражение лазерного доплеровского сдвига частоты:

$$f_D = \frac{2 \sin \theta}{\lambda} |U_y| \quad (18)$$

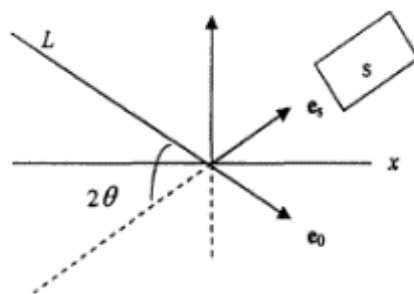


Рисунок 10 - Расположение определенных источников света, частиц и детекторов светового сигнала

Где  $U_y$  представляет компонент скорости  $U$  на оси  $y$ ,  $\theta$  представляет собой половинный угол угла между двумя падающими огнями. Из вышеприведенной формулы можно сделать вывод, что когда извлекается значение сдвига доплеровской частоты лазера, требуется значение скорости движущегося объекта, и нужно определять только угол падения лазера  $\theta$  и длину волны лазерного излучения  $\lambda$ . Расстояние, которое движущийся объект перемещает в течение времени  $0 \sim t$ :

$$S = \int_0^t U dt = \int_0^t \frac{\lambda}{2 \sin \theta} f_D dt$$

(19)

Согласно формуле (19), когда  $\theta$  и длина волны лазера  $\lambda$  определены, пока рассчитывается доплеровский сдвиг частоты  $f_D$ , можно получить длину измеряемого объекта в определенное время.

### 1.3.2 Приборы для измерения длины кабельных изделий

Ниже представлены характеристики приборов для измерения длины кабельных изделий с использованием различных методов.

Таблица 1 – приборы измерения длины кабельных изделий

Производитель	Наименование прибора	Диаметр провода (мм)	Допустимая скорость м/мин	Точность измерения %

«Proton Products»	SL mini 1220	1-20	2000	±0.05%
	SL3060	1-60	5000	±0.05%
«STELL»	РЕЙС-50	>4	/	±0.02%
НПО«РЕДВИЛЛ»	ИД-110	5-110	100	±0.1%
«Элеконт»	Метраж-50	3-50	600	±0.2%
«SHUANGKE»	DZY-J	3-80	200	±0.15%

Таблица 2 – Параметры разных измерителей скорости

	механический метод	метод магнитных меток	корреляционный метод	лазерный метод
погрешность	3%	1%	0.05%	0,05 %
диаметр кабеля	0.5...90мм	до 10 мм	5...180 мм	—
диапазон скоростей	600м/мин	600 м/мин	500 м/мин	2,500 м/мин
расстояние до объекта	0 мм	до 20 мм.	1100-1600 мм	до 1000 мм

Исходя из данной таблицы 2 можно сделать вывод, что по сравнению с традиционными механическими методами метод измерения ЛДИС имеет очевидные преимущества. Ошибки измерения меньше, прибор не соприкасается с продуктом, измерения проводятся в более широком диапазоне скоростей, и их также можно измерять дистанционно.

### 1.3.2.1 Прибор для измерения длины и скорости MSE-V1000

На рисунке 11 приводится доплеровский лазерный датчик MSE-V1000, разработанный и изготовленный компанией MODULOC SYSTEM ENGINEERING.



Рисунок 11 - Доплеровский лазерный датчик MSE-V1000

Лазерный датчик скорости MSE-V1000 - это бесконтактный измерительный прибор для измерения скорости и длины объекта с помощью лазерного эффекта Доплера. Подходит для различных областей промышленного производства. Лазерное бесконтактное измерение скорости и длины, отсутствие скольжения и износа позволяет преодолеть недостатки традиционных методов измерения скорости, таких как механические измерения.

MSE-V1000 использует новейшие цифровые сигнальные процессоры и использует уникальные методы анализа и алгоритмы. Позволяет пользователям гибко настраивать и настраивать различные параметры прибора.

MSE-V1000 имеет множество промышленных выходных интерфейсов и системных входных интерфейсов. Датчик скорости света может использоваться отдельно или может подавать сигналы управления с обратной связью в промышленные системы управления.

Лазерный луч разделяется на два луча с помощью светоделителя. Пересечение двух лучей на рабочем расстоянии создает интерференционные полосы. Когда движущийся объект проходит через эту область пятна, генерируется рассеянный свет. Приемник света собирает рассеянный свет и

преобразует его в электрический сигнал. Этот сигнал содержит информацию о скорости движущейся цели. Эта информация анализируется процессором цифровых сигналов, Информация о доплеровской частоте преобразуется в информацию о скорости. После того, как интеллектуальный алгоритм фильтрации выполняет операцию преобразования сигнала, лазерный спидометр выводит информацию о скорости, требуемую пользователем, в режиме реального времени. На основании интенсивности обнаруженного отраженного лазерного излучения можно определить наличие или отсутствие выходного сигнала измеряемого объекта.

Особенности этого прибора:

- Высокая точность :  $\pm 0.02\%$ - $\pm 0.05\%$
- Бесконтактное измерение длины и скорости, без скольжения и царапин, не зависит от материала измеряемого объекта
- Параметры настройки системы можно гибко настраивать
- Масштабируемое ориентированное на пользователя программное обеспечение и инструменты для отладки
- Применимо для различных промышленных площадок

Таблица 3- Технические характеристики MSE-V1000

Минимальная скорость	0.03 m/s
Максимальная скорость	50 m/s
Измерение расстояния	1000 mm
Точность скорости	$\leq 0.05\%$
Стабильность	$\leq 0.02\%$
Скорость измерения	5 kHz
Температурный диапазон	5-40 °C
Габариты	354 mm × 160 mm × 91 mm
Масса	4 kg
Питание	20-28 VDC; 35 W
Характеристики лазера	Лазерный уровень Class IIIb; длина волны 785 nm

### 1.3.2.2 Прибор для измерения длины и скорости LaserSpeed Pro

На рисунке 12 приводится лазерный доплеровский датчик LaserSpeed Pro, разработанный и производимый компанией NDC TECHNOLOGIES с более чем 25-летним опытом эксплуатации в более чем 8 000 установок по всему миру. LaserSpeed имеет точность  $\pm 0,03\%$  с повторяемостью  $\pm 0,02\%$ , точность измерений в 20-40 раз выше точности механических датчиков. В производстве, где даже ошибка в 1% оказывает существенное влияние на прибыль, LaserSpeed помогает компаниям получить контроль над качеством, чтобы уменьшить количество отходов и переработать - и избежать дорогостоящих простоев.

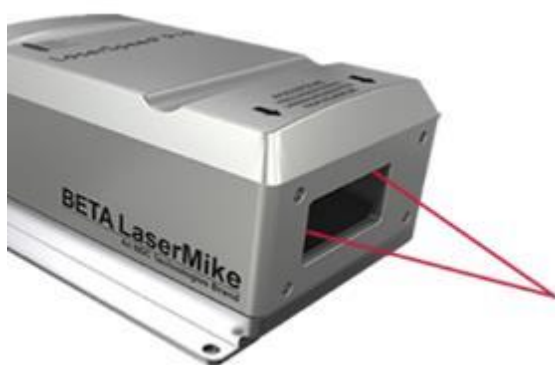


Рисунок 12 - Доплеровский лазерный датчик LaserSpeed Pro

LaserSpeed Pro легче, чем когда-либо, интегрируется в производственные сети, обеспечивающие обмен данными в режиме реального времени.

Преимущество LaserSpeed Pro

- Прямая замена тахометров и энкодеров
- Отсутствие проскальзывания, измерение всех типов материалов, форм, цветов и текстур
- Постоянно откалиброван, нет движущихся частей; «Умный» датчик (вся оптика, электроника, входы / выходы в датчике)
- Расширенные возможности подключения Ethernet поддерживают стандарты Industry 4.0, такие как ModBus TCP, Ethernet / IP и Profinet IO, а также поддержку полевой шины для Profibus DP. (Будущее соединение через WIFI, BlueTooth, ZigBee)

➤ Пакет программного обеспечения LaserTrak обеспечивает полный цифровой контроль над настройкой и работой LaserSpeed Pro. Инструменты включают в себя настройку связи с датчиком, настройку длительности и скорости импульса, управление выходом высоко- и низкоскоростного импульса, построение графиков / графиков и хранение данных.

➤ Увеличенная скорость передачи данных (от 4,8 до 460 кБод); постоянное автоматическое определение скорости передачи

➤ Усовершенствованная технология лазерных диодов удваивает срок службы обычных диодов, обеспечивая самый долгий срок службы в отрасли.

Таблица 4 - Технические характеристики LaserSpeed Pro

Минимальная скорость	0.2 m/min
Максимальная скорость	12000 m/min
Измерение расстояния	15-100 mm
Точность скорости	≤0.07%
Стабильность	≤0.02%
Температурный диапазон	-5-45 °C
Габариты	203 mm × 159 mm × 88 mm
Масса	9 kg
Питание	24 VDC(±4 VDC);

Все вышеперечисленные инструменты очень точные и очень быстрые. Эти устройства могут использоваться на различных типах поверхностей, например: для измерения проката, стальных листов, заготовок, труб, проводов, бумаги, фольги, пленок, проводов, кабелей, лент, упаковки, тканей, нетканых материалов, строительных материалов. и так далее. Программное обеспечение использует преобразование Фурье и корреляционный анализ. Устройство поддерживает богатые интерфейсы и легко интегрируется в производственную линию, включая Ethernet, RS-232, RS-422, RS-485 импульсный и аналоговый выход. Кроме того, лазерный спидометр прост в установке и выравнивании и откалиброван на заводе для удобства использования.

В зависимости от модификации прибора различаются диапазон расстояний до измеряемого объекта, глубина диапазона измерения и максимальная скорость объекта.

Разница между этими двумя спидометрами заключается в том, что LaserSpeed Pro обладает лучшими характеристиками при измерении металлов, включая непрерывную разливку, холодную и горячую прокатку и отпуск. Кроме того, продукт обладает новыми функциями связи и управления, которые легче интегрировать в производственную сеть, чем раньше, что обеспечивает обмен данными в режиме реального времени и строгую эффективность обработки, требуемую производителями для улучшения качества продукции.

MSE-V1000 может лучше измерять длину и скорость, а время отклика очень короткое. В системе могут быть установлены гибкие и разнообразные параметры с лучшими характеристиками при измерении различных проводов, кабелей и трубопроводов. Устройство может выполнять различные измерения, такие как: измерение длины одного объекта, измерение синхронизации скорости, измерение скорости, управление балансом скорости и так далее. Приложение очень обширное.



## 2 Конструкция ЛДИС

### 2.1 Структурная схема ЛДИС

Простейшая структурная схема лазерного доплеровского измерителя (рисунок 13) должна иметь в себе ряд ключевых компонентов, таких как источник когерентного оптического излучения (полупроводниковый лазер), призму-делитель оптического излучения, зеркала, собирающие линзы, фотоприёмник.

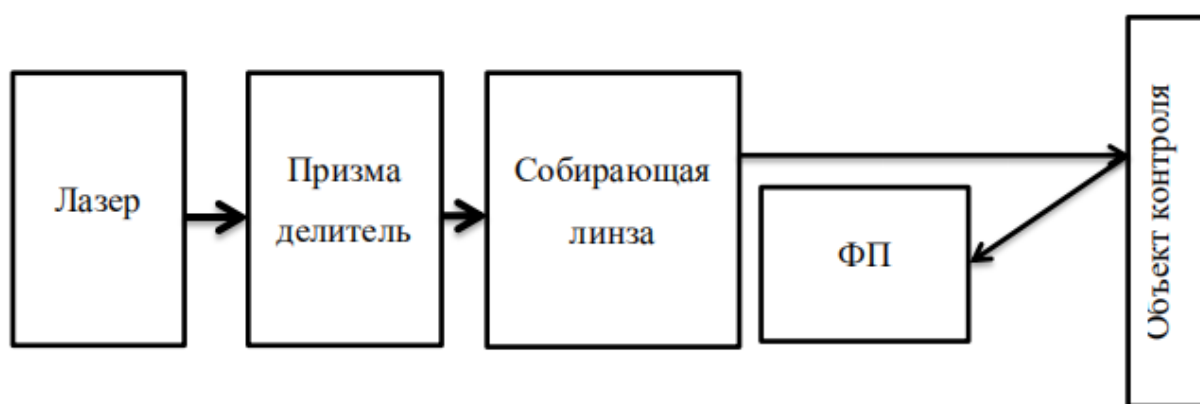


Рисунок 13 - структурная схема лазерного доплеровского измерителя скорости

### 2.2 Типовая структура оптической части ЛДИС

На рисунке 14 показана структура оптической части ЛДИС. После того, как лазерный луч входит в светоделитель, образуются два луча. Два лазерных луча фокусируются линзой 1 в области измерения, они образуют интерферирующую картину с периодом « $d$ ». Излучение, рассеянное неоднородностями на поверхности объекта, собирается объективом в пределах щелеобразной диафрагмы и после отражения от зеркала направляется объективом 2 на фотоприемник и преобразуется в электрический сигнал, частота которого пропорциональна скорости движения объекта.

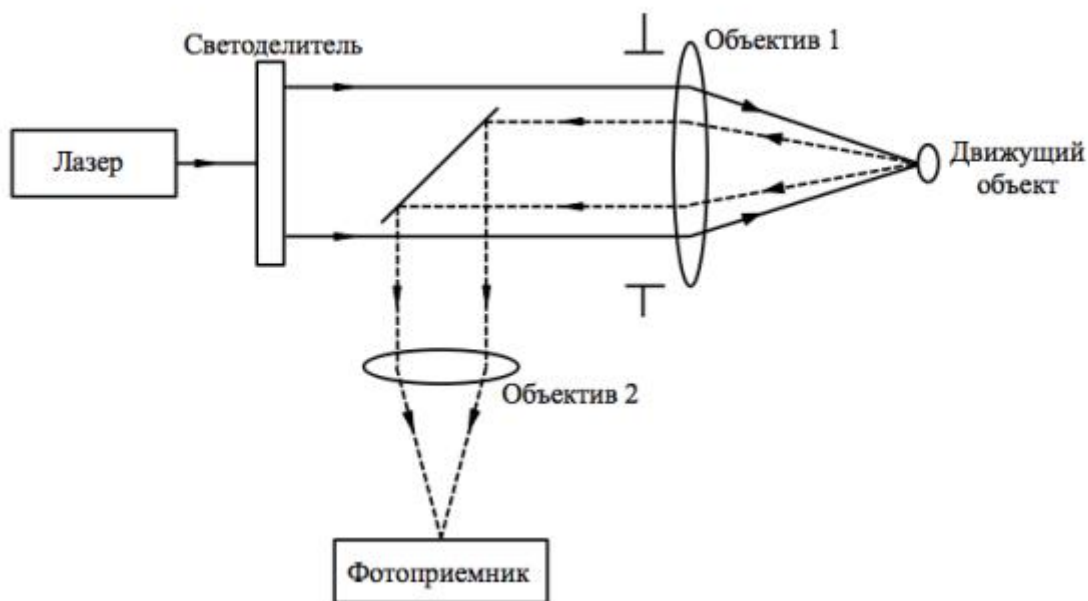


Рисунок 14 - Структурная схема ЛДИС

В качестве источника излучения может быть использован полупроводниковый лазер - лазерный диод. Лазерные диоды компактны, что позволяет использовать их во многих устройствах [7]. Его работа основана на возникновении инверсии населённости в области  $p$ - $n$  перехода при инжекции носителей заряда. Полупроводниковые лазеры проще в использовании и дешевле твердотельных, имеют большой КПД. Лазерные диоды продаются в виде законченных дискретных элементов, которые требуют только электропитания и фокусировки [8].

Делитель луча делит лазерный луч на два луча и преобразует его фазу, так что два луча образуют определенный сдвиг фазы. Делитель луча может быть реализован различными способами.

### 2.3 Типовая структура электронной части ЛДИ

Конструкция ЛДИС состоит из четырех основных частей: лазерный источник, светоделитель, фотодетектор и фотоэлектрический преобразователь (предусилитель и фильтр высоких частот).

Далее речь пойдет о фотодетекторе и фотоэлектрическом преобразователе.

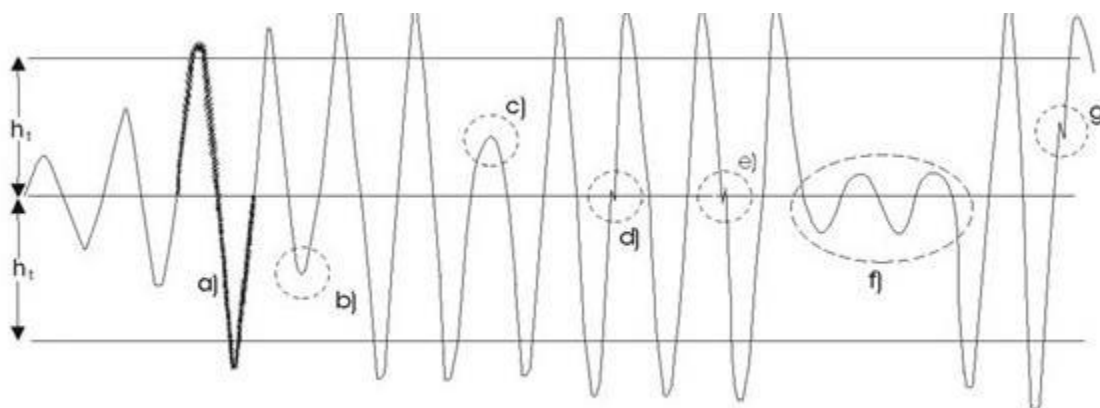
Функция фотоприемника заключается в преобразовании оптического сигнала в сигнал переменного тока (сила тока), причем величина тока пропорциональна интенсивности светового излучения на поверхности измеряемого объекта в каждый момент. Следовательно, частота электрического сигнала, преобразованного фотоприемником, пропорциональна скорости измеряемого объекта.

В качестве фотоприёмников в ЛДИС чаще всего применяют PIN фотодиоды, обладающие большой чувствительностью и хорошим быстродействием. Чтобы выбрать конкретный тип фотодиода, необходимо учитывать следующие характеристики диода: коэффициент усиления, спектральную и частотную характеристики, темновой ток, пороговую чувствительность. PIN фотодиоды являются улучшенной версией планарных диффузионных диодов с низкой емкостью. В них для увеличения быстродействия между р и n слоями формируется дополнительный i-слой, обладающий высоким удельным сопротивлением. При обратном смещении перехода такие устройства работают лучше. PIN фотодиоды имеют низкий ток утечки и высокое напряжение пробоя.

Выходной доплеровский сигнал фотоприемного устройства, частота которого может меняться в пределах  $10 - 10^7$  Гц, состоит из неинформационной низкочастотной составляющей, информационной высокочастотной доплеровской составляющей, оптических и электрических шумов.

Поэтому задача создания системы обработки доплеровских сигналов с высокими метрологическими и динамическими параметрами является достаточно сложной и ей посвящено большое количество публикаций [6].

Реальный вид доплеровского сигнала (без н.ч. составляющей) приведен на рисунке 15.



а – сигнал с аддитивным шумом; в, с – зашумленные сигналы соответственно в области максимальных и минимальных значений; d, e – многократные паразитные переходы через нулевой уровень; f – скачкообразное изменение фазы сигнала; g – нарушение монотонности изменения сигнала

Рисунок 15 - Общий вид доплеровского сигнала без низкочастотной составляющей

Все основные методы обработки доплеровского сигнала можно разделить на несколько основных групп: спектральный или корреляционный анализ, следящие фильтры-демодуляторы, счетно-импульсные процессоры, корреляторы фотоотсчетов, системы на базе РС.

В последнее время для промышленных приборов наибольшее распространение получили различные варианты счетно-импульсных процессоров, основанных на выделении переходов доплеровского сигнала через нулевое значение, как аппаратными, так и программными средствами.

Высокоточный процессор, оптимизированный для работы в ЛДИС, должен обеспечивать: максимальное число отсчетов в единицу времени, минимальную вероятность ложных отсчетов, оптимальное усреднение информации .

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью раздела является анализ и выбор конкурентоспособного метода технической реализации измерителя скорости и длины протяженных изделий.

### **4.2 SWOT-анализ**

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап помогает выявить сильные и слабые стороны проекта, также возможности и угрозы.

Таблица 6 –Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>C1. Экономичность и функциональность технологии</p> <p>C2. Стоимость системы ниже аналогичных технологий</p> <p>C3 Простота схемы измерения скорости</p> <p>C4. Высокая надежность</p> <p>C5. Подготовка всех требуемых заказчику оборудования и технологии</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1.Стоимость системы сильно зависит от стоимости комплектующих материалов</p> <p>Сл2.Сложность обслуживания системы</p> <p>Сл3.Погрешности измерения из-за аберраций линзы</p> <p>Сл4. Частые поломки из-за хрупкости линзы</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>B1. Увеличение спроса продукции на рынке</p> <p>B2. Имеем оборудование для выполнения комплексного исследования</p> <p>B3. Замещение импортной продукции отечественной</p> <p>B4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>B5. Имеет спрос в кабельной промышленности</p>	<p>1.Провести исследования проекта</p> <p>2. Разработать измерительную систему</p> <p>3. Корректировать ошибки</p> <p>4. Продвинуть проект на рынок</p> <p>5. Заключить договора с предприятиями</p>	<p>1. Улучшить систему, сделать ее малогабаритной</p> <p>2. Уменьшить погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок</p> <p>3. Сделать более эффективную в применении измерительную установку</p> <p>4. Защитная конструкция для линзы</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Высокая конкуренция</p> <p>У2. Узко-направленность продукции</p> <p>У3. Возможность предпочтения аналогов</p> <p>У4. Небольшой спрос на товар</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>1. Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования продукции</p> <p>2. Более низкая стоимость производства и экономичность технологии позволят увеличить спрос, а также минимизировать потери при несвоевременном Финансовом обеспечении.</p>	<p>Неудобство работы с крупногабаритной и хрупкой системой, большие погрешности измерения приводит к отсутствию спроса на рынке</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это

соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 7 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	0	0	+	0	+
	B3	+	+	-	+	0
	B4	+	+	0	+	0
	B5	+	+	+	+	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	0	-	+
	B3	+	+	-	-	0
	B4	+	-	0	+	-
	B5	-	-	-	-	0
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	0
	У2	0	0	+	0	0
	У3	+	+	+	+	0
	У4	-	0	0	+	0
	У5	+	-	-	-	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	0	0	+
	У2	-	+	0	-	+
	У3	+	+	-	-	0
	У4	+	-	0	+	-
	У5	+	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц:

Сильно коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C1C2C3C4C5, C3 B1B2C4 B3 B4 B5, B5 C1C2C3C4.

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности: У1Сл1 Сл2 Сл3 Сл4, У1Сл1 Сл2 Сл3 Сл4 Сл5, B5 Сл1Сл2 Сл3Сл4.

Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

Вывод: проект имеет свои недостатки и слабые стороны, но с помощью возможностей и сильных сторон можно продвинуть проект на рынок, а также есть возможность снизить угрозы и риски, и поэтому есть хорошая вероятность его реализации.

### 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ ра б	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, инженер



	8	Измерение скорости и длины протяженных изделий	Инженер
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	10	Устранение погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Разработка структурной схемы измерителя	Инженер
	14	Разработка оптической схемы измерителя	Инженер
	15	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	16	Оценка эффективности производства применения проектируемого изделия	Инженер
	17	Разработка электрической принципиальной схемы	Руководитель, инженер
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	18	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель, инженер
	19	Лабораторные испытания макет	Руководитель, инженер
Оформление отчета по (комплекта документации по ОКР)	20	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad ( 21 )$$

где  $t_{ожи}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (22)$$

где  $T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (23)$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$K_{кал}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (24)$$

где  $T_{\text{кал}}$  - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

$T_{\text{кал}} = 365$  дней

$T_{\text{вых}} = 52$  воскресения

$T_{\text{пр}} = 14$  дней

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполн и- тели		Длитель ь- ность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длитель -ность работ в календа р- ных днях $T_{Ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожсi}$ , чел-дни							
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение ТЗ	2	-	5	-	1	-	+	-	3,2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Проведение патентных исследований	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2
Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	+	+	1,9	1,9	2	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	+	+	0,7	0,7	1	1
Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Построение макетов и проведение экспериментов	20	20	30	30	24	24	+	+	12	12	15	15

Измерение скорости и длины протяженных изделий	10	10	20	20	14	14	+	+	7	7	9	9
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим исследованием	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2
Устранение погрешности измерения	2	2	4	4	2,8	2,8	+	+	1,4	1,4	2	2
Оценка эффективности и полученных результатов	2	-	3	-	2,4	-	+	-	2,4	-	3	-
Определение целесообразности проведения ОКР	4	4	6	6	4,8	4,8	+	+	2,4	2,4	3	3
Разработка структурной схемы	-	1	-	2	-	1,4	-	+	-	1,4	-	2
Разработка оптической схемы	-	1	-	5	-	2,6	-	+	-	2,6	-	3
Выбор и расчет конструкции	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Оценка эффективности и производства и применения изделия	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Разработка электрической принципиальной схемы	4	4	8	8	5,6	5,6	+	+	2,8	2,8	3	3
Конструирование и изготовление макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Лаб.испытания макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Составление ПЗ	-	10	-	30	-	18	-	+	-	18	-	22
Итого									44	101	53	123

## 4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхи} \quad (25)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Асферическая линза	1 штука	1	3000	3450
Призма	1 штука	1	2000	230
Интегральные микросхемы КР140УД22	1 штука	1	25	28,75
Интегральные микросхемы КР544УД2	1 штука	10	20	230
Логические микросхемы К561ЛП2	1 штука	1	20	23
Диоды 1N4004	1 штука	4	2	9,2
Конденсаторы К10-176	1 штука	20	5	115
Переменные резисторы СПЗ-4АМ	1 штука	1	50	57,5
Подстроечные резисторы СП5-2ВБ	1 штука	2	25	57,5
Транзисторы КТ361Б	1 штука	1	2	2,3
Припой ПОС-61	1 метр	5	20	115
Канифоль сосновая	100 грамм	3	290	1000,5
Плата монтажная	1 штука	1	50	57,5
Корпус	1 штука	1	500	575
Итого				5893,75

#### 4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл. 11. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизационные отчисления за время использования оборудования, руб.
1	Компьютер высокой мощности	1	25000	3750
2	Паяльная станция	1	2000	300
3	Лазерный диод	1	2000	300
4	Генератор VC-2002	1	8000	1200
5	Источник питания постоянного напряжения и тока ATH-4235	1	46000	6900
Итоговая сумма				12450

#### 4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (26)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (27)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 12);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} \quad (28)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_D$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Расчёт основной заработной платы приведён в табл.13.

**Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы**

Исполнители	З <sub>м</sub> без учета, руб.	З <sub>м</sub> с учетом РК (2020 г), руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р. раб. дн.</sub>	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	35120	47250	1968.75	44	86625.00
Инженер	26300	34190	1402,67	101	141669,33
Итого З <sub>осн</sub>					228294.33

#### **4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (29)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы равный 0,12.

**Таблица 14 – дополнительная заработная плата**

	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата	86625.00	141669,33
Дополнительная з/п	10395.00	17000,32
Итого доп. з/п	27395.32	

#### **4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (30)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

**Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды**

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	86625.00	10395.00
Инженер	141669,33	17000,32
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.302	
Итого $Z_{внеб} = 29300.04 + 47918 = 77218.27$ руб.		



#### 4.4.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (31)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (5893,75 + 12450 + 222095,20 + 33314,28 + 69215,97) \cdot 0,16 = 51347,07 \text{ руб}$$

#### 4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	5893,75	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	12450	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	222095,20	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	33314,28	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	77218,27	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	55547,07	Пункт 3.4.8
7. Бюджет затрат НТИ	402716,27	Сумма ст. 1- 8

#### 4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (32)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (33)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$  .  $b_i^p$  – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Аналог 1	Аналог 2
1. Погрешность измерения	0,15	4	4
2. Себестоимость	0,25	5	5
3. Энергосбережение	0,15	4	4

4. Надежность	0,35	5	3
5. Материалоемкость	0,1	3	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 5*0,35 + 3*0,1 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 3*0,35 + 4*0,1 = 3,9;$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,62	0,86
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	7,26	4,53
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,6	0,85

Выводы: интегральный показатель ресурсоэффективности первого варианта исполнения 4,5 выше, чем второго.

Показатель сравнительной эффективности в итоге получился самым высоким 1,6.

Сравнив эти значения, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.